หน่วยที่ 5

โปรตีน (protein)

เนื้อหาสาระ

1. ส่วนประกอบทางเคมี
2. การจำแนกชนิดของโปรตีน
3. ลักษณะโครงสร้างของโปรตีน
4. คุณสมบัติของโปรตีน
5. การทำลายสภาพแวดล้อม (Denaturation)
6. หน้าที่โดยทั่วไปของโปรตีน

แนวคิด

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากในเซลล์ และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตเป็นอันดับ 2 รองจากน้ำ ในร่างกายของเราจะมีโปรตีนอยู่ประมาณ 1 ใน 7 ของน้ำหนักตัว โปรตีนจะช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโต และซ่อมแซมเซลล์ต่างๆ ของร่างกาย โปรตีนหลายชนิดเป็นเอนไซม์ที่ช่วยเร่งและควบคุมปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต บางชนิดทำหน้าที่ควบคุมระบบต่างๆ ให้ทำงานได้ตามปกติ ดังนั้นในกรณีที่ร่างกายขาดพลังงานจากสารชีวโมเลกุลประเภทคาร์โบไฮเดรตและไขมัน จะสามารถได้รับพลังงานจากการสลายโปรตีนได้ ในร่างกายจะมีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อาหารที่มีโปรตีนมากได้แก่ เนื้อสัตว์ ไข่ นม และถั่วชนิดต่างๆ เมื่อสลายจะให้พลังงานประมาณ 4 กิโลแคลอรี

เมื่อเรารับประทานโปรตีนเข้าไปในร่างกายจะผ่านกระบวนการย่อยของร่างกาย ทำให้ได้หน่วยที่เล็กที่สุดของโปรตีน ร่างกายจะสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ เราเรียกหน่วยย่อยหรือสารเคมีนี้ว่า **กรดอะมิโน (amino acid)** ซึ่งกรดอะมิโน แต่ละโมเลกุลประกอบด้วยธาตุหลัก 4 ธาตุ ได้แก่ ไฮโดรเจน ออกซิเจน คาร์บอน และไนโตรเจน โดยยึดกันด้วยพันธะเพปไทด์ นอกจากนั้นกรดอะมิโนบางชนิดยังมีกำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) เป็นส่วนประกอบด้วย กรดอะมิโน ที่พบในพืชและสัตว์มีประมาณ 20 ชนิด

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายถึงองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนได้
2. อธิบายถึงการจำแนกชนิดของโปรตีนได้

3. อธิบายถึงลักษณะโครงสร้างของโปรตีนได้
4. อธิบายถึงคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของโปรตีนได้
5. อธิบายถึงการทำลายสภาพธรรมชาติของโปรตีนได้

หน่วยที่ 5

โปรตีน (protein)

ความนำ

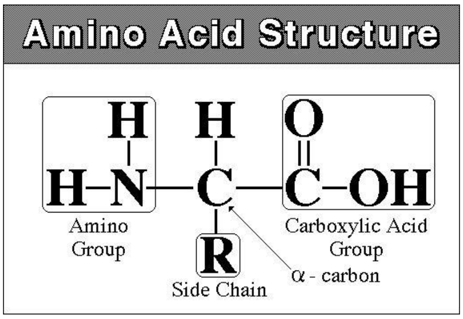
คำว่า "โปรตีน" มาจากภาษากรีก หมายถึง ความสำคัญอันดับแรก โปรตีนเป็นอินทรียสารในสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่มากที่สุด แต่ละโมเลกุลประกอบด้วยอะตอมนับพัน โปรตีนประกอบด้วยอะตอมของธาตุหลัก 4 ชนิดด้วยกัน คือ ไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน และไนโตรเจน นอกจากนี้อาจมีกำมะถัน ฟอสฟอรัส เหล็ก ไอโอดีน หรือโคบอลต์ อยู่ด้วยในโมเลกุลของโปรตีนบางชนิด โปรตีนต่างกับคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันตรงที่โปรตีนมีไนโตรเจนอยู่ด้วย โดยเฉลี่ยแล้วโปรตีนจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 16 โปรตีนมีสภาพเป็นคอลลอยด์ คือ เป็นเนื้อเดียวกับน้ำ เช่น น้ำนม

1. ส่วนประกอบทางเคมี

โปรตีนทุกชนิดประกอบไปด้วยหน่วยโครงสร้างที่เรียกว่า "กรดอะมิโน" (Amino acid) กรดเหล่านี้จะเชื่อมต่อตัวเป็นสายยาว โดยพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) เรียกสายยาวที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของกรดอะมิโนนี้ว่า โพลีเปปไทด์ (Polypeptide) ซึ่งจะมีจำนวนกรดอะมิโน ตั้งแต่100-800 ตัว ส่วนสายยาวที่ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำนวนน้อย (<50) เรียก "โอลิโกเปปไทด์" (Oligopeptide)

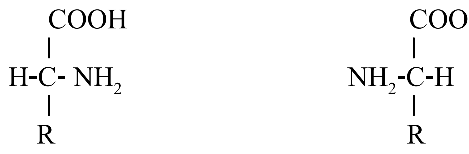
1.1 กรดอะมิโน (Amino acid)

กรดอะมิโนเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ที่มีหมู่อะมิโน(-NH_2) เกาะอยู่ที่ตำแหน่งอัลฟา จึงเรียกว่า α–Amino acid



ภาพที่ 5.1 แสดงโครงสร้างกรดอะมิโน

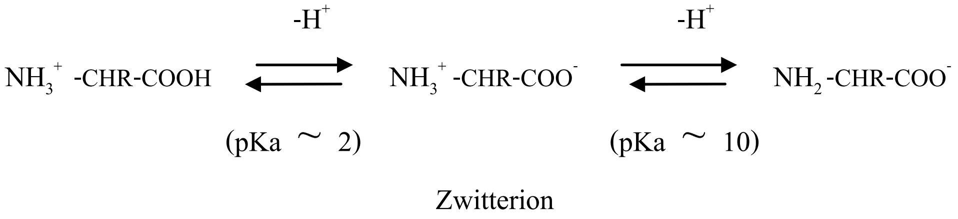
กรดอะมิโนที่พบในธรรมชาติมีประมาณ 20 ชนิด และจัดอยู่ในโครงสร้างชนิดแอล (L-configurtation) ดังภาพข้างล่าง



$$\begin{array}{c} COOH \\ | \\ H\text{-}C\text{-}NH_2 \\ | \\ R \end{array} \qquad\qquad \begin{array}{c} COOH \\ | \\ NH_2\text{-}C\text{-}H \\ | \\ R \end{array}$$

ภาพที่ 5.2 D-Ainno acid L-Amin acid

เนื่องจากหมู่อะมิโนสามารถรับโปรตอน (H^+) ได้เมื่ออยู่ในสารละลาย ทำให้มีประจุเป็นบวก และหมู่คาร์บอกซิลกก็สามารถให้โปรตอนได้จึงมีประจุเป็น ($-NH_3^+$) และหมู่คารบอกซิลิกก็สามารถให้โปรตอนได้จึงมีประจุเป็นลบ ($-COO^-$) ด้วยเหตุนี้กรดอะมิโนจึงมีทั้งประจุลบและบวกอยู่ในโมเลกุลในสารละลายที่มี pH เป็นกลาง ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า Zwitterion หรือ Dipolar ionซึ่งทำให้สามารถทำปฏิกิริยาได้กับทั้งกรดและเบส โดยเมื่อทำปฏิกิริยากับเบส หมู่แอมโมเนียจะเปลี่ยนเป็นกรออะมิโน($-NH_3^+$) จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่อะมิโน ($-NH_2$) และเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด หมู่คาร์บอกซิเลต ($-COO^-$) จะเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนซิลิก (-COOH) คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่า Amphiteric คือมีคุณสมบัติทำปฏิกิริยาได้ทั้งกรดและเบส



$$NH_3^+\text{-CHR-COOH} \underset{(pKa \sim 2)}{\overset{-H^+}{\rightleftarrows}} \underset{\text{Zwitterion}}{NH_3^+\text{-CHR-COO}^-} \underset{(pKa \sim 10)}{\overset{-H^+}{\rightleftarrows}} NH_2\text{-CHR-COO}^-$$

ภาพที่ 5.3 แสดงการแตกตัวของกรดอะมิโน

จากการที่กรดอะมิโนมีลักษณะเป็น Zeitterion นี้ ดังนั้นในสารละลายกรดอะใดนประจุบวก ส่วนในสารละลายเบสจะเป็นประจุ ลบ ส่วนในสารละลายที่มี pH ที่ทำให้โมเลกุลของกรดอะมิโนมีผลรวมทางพีชคณิตของประจุเท่ากับ 0 คือปริมาณประจุ – เท่ากับปริมาณประจุ – พอดี ณ. จุดนี้จะเรียกว่า จุด ไอโซอิเลคติค (Isoelectric point or pI) ดังนั้น ณ. จุดนี้โมเลกุลจะไม่มีการเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้า และจะตกตะกอนเนื่องจากไม่มีประจุบนโมเลกุล กรดอะมิโนแต่ละชนิดจะมีค่า pI เป็นค่าเฉพาะ คุณสมบัติในการละลายขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย และเนื่องจากกรดอะมิโนมีโครงสร้างที่เป็นประจุโมเลกุลทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง จึงมักเป็นของแข็งที่มุจุดหลอมเหลวสูง

1.1.1 การแบ่งชนิดของกรดอะมิโน กรดอะมิโนต่างกันที่แขนงข้าง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น8 ชนิด ตามลักษณะทางเคมี คือ Aliphaioc , Aromatic , Sulphur , Acodic,Basic , Amide , Hydroxy และ Imino และแขนงแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติเฉพาะอย่าง คือ

(1) แขนงของบสงชนิดแตกตัวให้โปรตอนได้เมื่อ pH ของสารละลายสูงกว่าpKa ทำให้มีประจุเป็น – เช่น กรอกลูตามิค ซิลเตอีน และไทโรซีน แขนงขางชนิดรับโปนตอนได้เมื่อpH ต่ำกว่า pKa ทำให้มีประจุบวก เช่น ฮิสติตีน ไลซิน และอาร์จินีน

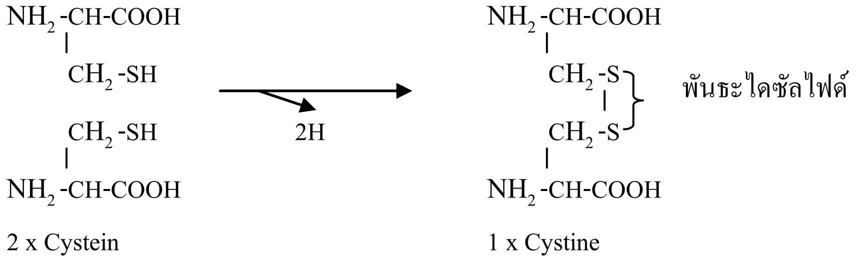
(2) กรดอะมิโนที่มีโครงสร้างเป็น Aromatic จะดูดแสงในช่วงความยาวคลื่น 260-280 nm

(3) กรดอะมิโนแตอีน สองโมเลกุลสามารุรวมตัวกับโครงสร้างพันธะไดซัลไฟท์ (Disulphide bond) กลายเป็นกรดอะมิโนซิสไตร์ (Cystine)

คุณสมบัติทางเคมีของแขนงข้างทำให้กรดอะมิโนบางตัวมีลักษณะโพลาร์จึงมักพบบริเวณผิวของโปรตีน เพราะชอบน้ำ(Hydrophilic) ส่วนกรดอะมิโนอีกกลุ่มหนึ่งมีลักษณะไม่โพลาร์ และมักซ่อนอยู่ในโมเลกุลของโปรตีน เพราะไม่ชอบน้ำ (Hydrobic) กรดอะมิโนที่เหลือไม่มีแนวโน้มที่เป็นโพลาร์มากหรือไม่โพลาร์ จึงเรียกว่า "เป็นกลาง" (Ambivalent) พบอยู่ภายในและภายนอกโปรตีน

1.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของกรดอะมิโน

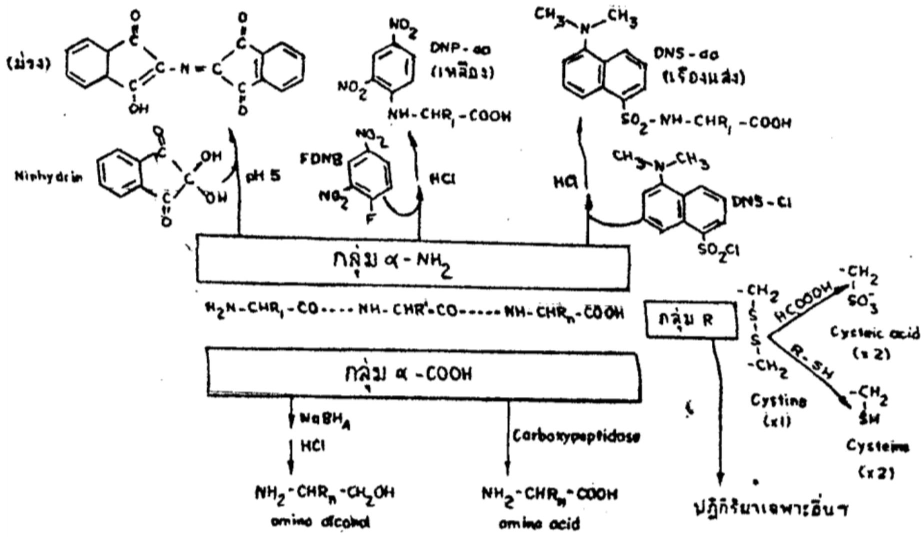
(1) กลุ่มแลฟาอะมิโน เป็นกลุ่มที่สามารถทำปฏิกิริยากับนินไฮดรินให้สารสีม่วง (ภาพที่ 5. 5) ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากมายในการตรวจสอบกรดอะมิโนและโปรตีนและยังสามารถทำปฏิกิริยากับ Fluorodonitoemzene (FDNB) หรือ Damsyl chlorude ได้กรดอะมิโนหรือ Damsul – anino acid (DNS-aa) ซึ่งเรืองแสงตามลำดับ (ภาพที่ 5. 5) ปฏิกิริยาดังกล่าวมีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาชนิดของกรดอะมิโนที่อยู่ที่ปลานด้าน N-Tetminus ของโปรตีน เพราะมีอัลฟาอะมิโนอิสระ



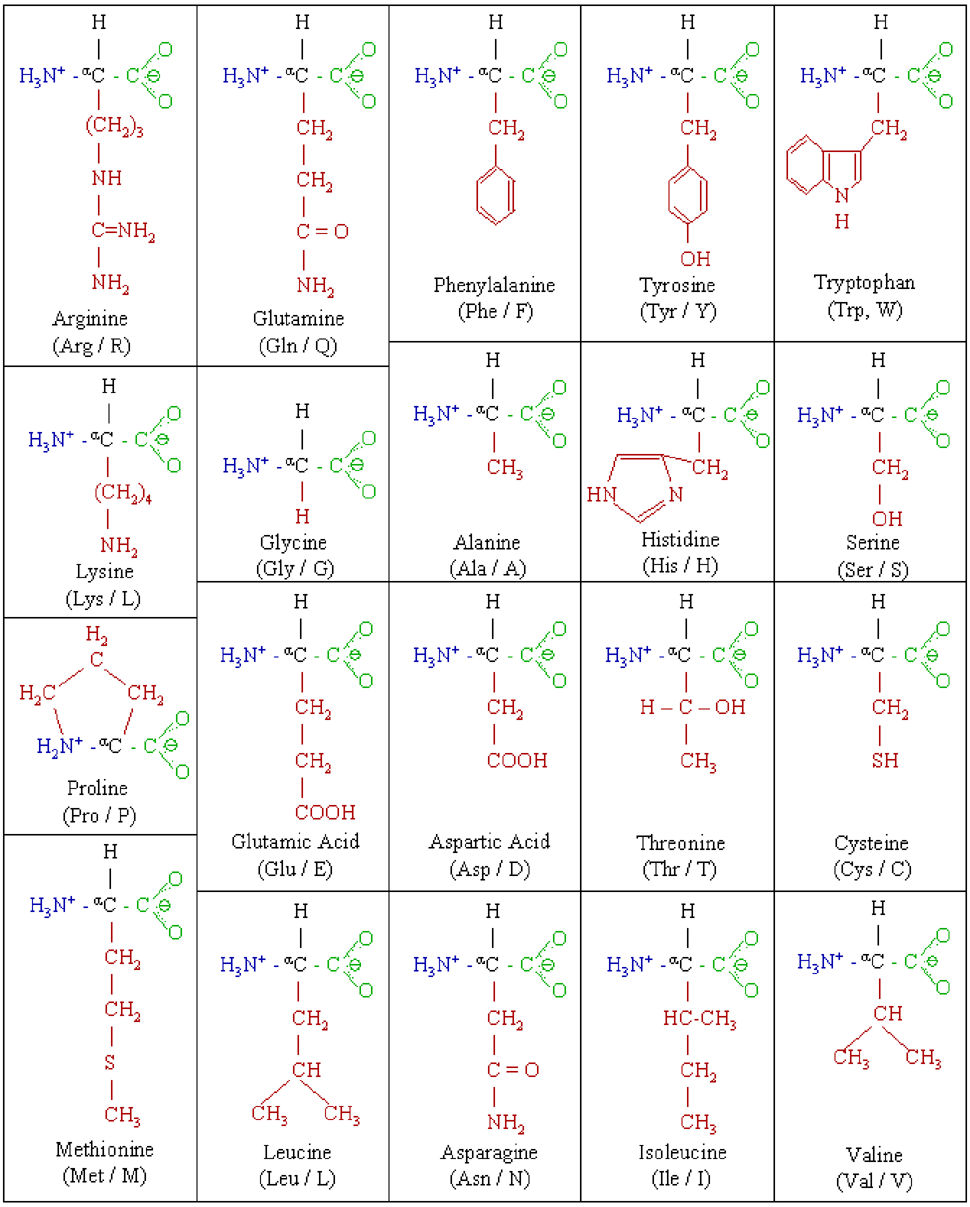
ภาพที่ 5.4 แสดงการเกิดพันธะไดซัลไฟด์

(2) กลุ่มอัลฟาคาร์บองซิลิก จะสามารถทำปฏิกิริยา กับ $NaRH_4$ ให้อนุพันธ์ ซึ่งมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ว่ากรดอะมิโนใดอยู่ปลาย C-Tetimus

(3) แขนงข้าง แขนงข้างของกรดอะมิโนบางชนิดมีปฏิกิริยาจำเพาะ เช่น กรดอะมิโนไนซิสไตร์ ในสภาพที่มีพันธะไดซัลไฟด์ สามารถถูกรีดิวส์ด้วยสารประเภท Thiol (R-SH) กลายเป็นซิสเตอีน หรือ ออกซิไดซ์ด้วย Performic axid กลายเป็น Cysteic acid (ภาพที่ 5.5)



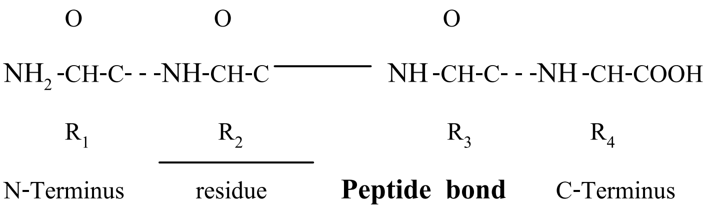
ภาพที่ 5.5 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกรดอะมิโน



ภาพที่ 5.6 แสดงสูตรโครงสร้างกรดอะมิโน 20 ชนิด

1.2 พันธะเปปไทด์ (Peptide bond)

กรดอะมิโนโปรตีนจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ ซึ่งเป็นพันธะเอไมด์ (Amide bond) หรือ CO-NH เกิดขึ้นจากการรวมตัวของหมู่ราค์บอกซิลของกรดอะมิโนของกรดอะมิโนอีกตัวหนึ่ง โดยเสียน้ำไปหนึ่งโมเลกุล แล้วเกิดพันธะใหม่เรียกว่า “พันธะเปปไทด์” (Peptide) ดังรูปที่ 4 ดังนี้โปรตีนตึงอาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า “โพลีเปปไทด์” (Polypeptide) เ นื่องจากประกอบด้วยพันธะเปปไทด์หลายร้อยพันธะ โดยมีหมู่อัลฟาอะมิโนอิสระอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งเรียกปลายข้างนี้ว่า N-Terminus ซึ่งจะเขียนได้ทางด้านซ้ายมือ และปลายด้วยที่มีหมู่คาร์บอกซิลิกอิสระว่า C-Terminus ซึ่งจะเขียนได้ทางด้านขวามือ



$$\mathrm{NH_2\text{-}\underset{R_1}{CH}\text{-}\overset{O}{C}\text{-}\text{-}NH\text{-}\underset{R_2}{CH}\text{-}\overset{O}{C}}\text{———}\mathrm{NH\text{-}\underset{R_3}{CH}\text{-}\overset{O}{C}\text{-}\text{-}NH\text{-}\underset{R_4}{CH}\text{-}COOH}$$

ภาพที่ 5.7 แสดงพันธะเปปไทด์ในสายโพลีเปปไทด์

2. การจำแนกชนิดของโปรตีน

2.1 จำแนกตามลักษณะโครงสร้างโปรตีนอาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ตามลักษณะดังนี้ คือ

(1) โปรตีนลักษณะเส้นใย (Fibrous protein) ได้แก่ โปรตีนที่มีลักษณะเส้นใยยาวของสายโพลีเปปไทด์หลาน ๆ สาบมาพันกันซึ่งสายนี้อาจขดเป็นเกลียว เช่น เคอราติน (Keratin) ในเส้นใยผม หรือเกาะกันเป็นแผ่น เช่น ไฟโบรอิน (fibroin) ในเส้นไหม ไมโอซิน (Myosin) ในกล้ามเนื้อ โปรตีนเหล่านี้มักมีความแข็งแรง ยืดหยุ่นได้ ส่วนใหญ่จึงทำหน้าที่เป็นโปรตีนโครงสร้าง

(2) โปรตีนลักษณะก้อนกลม (Globulaar protein) ได้แก่โปรตีนที่เกิดจากสายโพลีเปปไทด์ขด หรือ ม้วนตัวพับไปมา ทำให้มีลักษณะเป็นก่อนกลม เช่น พวกเอนไซม์ (Enzyme) และ อิมูโนโกลบูลิน (Immunoglobulin) ซึ่งมีโครงสร้างที่นิ่ง และเปลี่ยนแปลงง่าย

2.2 จำแนกโดยผลิตผลของการสลายด้วยกรดดังนี้ คือ

(1) โปรตีนอย่างง่าย (Simple protein) ได้แก่ โปรตีนที่มีส่วนประกอบเป็นกรดอะมิโนอย่างเดียวเท่านั้นหรือเป็นโปรตีนอิสระไม่รวมกับสมาโปรตีนอื่นใดเลย เมื่อนำโปรตีนชนิดนี้มาหยดไฮโดรไลซ์จะได้กรดอะมิโนต่าง ๆ จำนวนมากที่เป็นองค์ประกอบ เช่น

- อัลบูลิน (Albumin) เป็นโปรตีนมีอยู่ทั้งในพืชและสัตว์ ละลายได้ในน้ำ
- กลอบูลิน (Globulin) เป็นโปรตีนในพืชและสัตว์ละลายได้ในน้ำ แต่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือเจือจาง
- กลูเตลิน (Glutelin) เป็นโปรตีนในพืช ละลายได้ดีในสารละลายกรดหรือด่างเจือจาง

- โปรลามิน (Prolamine) เป็นโปรตีนในพืช ละลายได้ในตัวทำละลายแอลกอฮอลล์ 70 - 80%

- ฮิสโตน (Histone) เป็นโปรตีนด่างคือ มีองค์ประกิบของกรดอะมิโนด่าวจำนวนมากซึ่งสามารถรวมตัวกับสารที่มีคุณสมบัติเป็นกรดได้เช่น รวมกับกรดนิวคลิอีคได้นิวคลิโปรตีน ซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทสำคัญในสิ่งมีชีวิตฮิสโตนละลายได้ดีในน้ำ

- อัลบูมินอยด์ (Protamine) โปตามีนเป็นโปรตีนที่มีสมบัติเป็นด่างมากกว่าฮิสโตน ละลายได้ดีในน้ำ

- อัลบูมินนอยด์ หรือ สเคอโรโปรตีน (Aibuminoid or Scleroprotein) เป็นโปรตีนที่มีอยู่ในสัตว์และเป็นส่วนประกอบโครงสร้างที่สำคัญของร่างกาย เช่น คอราตินในเส้นผม เขา และเล็บ ไฟโบรอินในเส้นไหม โปรตีนชนิดนี้จะไม่ละลายในตัวทำลาลายใด ๆ ทั้งสิ้น

(2) โปรตีนคอนจูเกต (Conjugated protein) เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยโปรตีนอย่างง่ายรวมกับสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โปรตีนที่เรียกว่า หมู่พรอสเธติก (Prosthetic group) เช่น รวมกับกรดนิวคลิอิก คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโลหะต่าง ๆ ได้แก่

- นิวคลิโอโปรตีน (Nucleoprotein) ประกอบด้วยโปรตีนด่างรวมกับกรดนิวคลิอิค
- มิวโครโปรตีน หรือ มิวคอยด์ (Mucoprotein or Mucoid) ประกอบด้วยโปรตีนอย่างง่ายต่อกับ คาร์โบไฮเดรต หรืออาจเรียกไกลโปรตีน (Glycoprotein)
- โครโมโปรตีน (Chromoprotein) ประกอบด้วยโปรตีนกับเธอติกที่มีสีเป็นหมู่ พรอสเธอติก
- ฟอสโฟโปรตีน (Phosphoprotein) เป็นโปรตีนที่มีอยุ่พรอสติกเป็นกรดฟอริค
- ไลโปโปรตีน (Lipoprotein) ประกอบด้วยโปรตีนกับสารพวกไขมัน กรดไขมัน
- เมตัลโลโปรตีน (Metalloprotein) ประกอบด้วยโปรตีนกับโลหะ

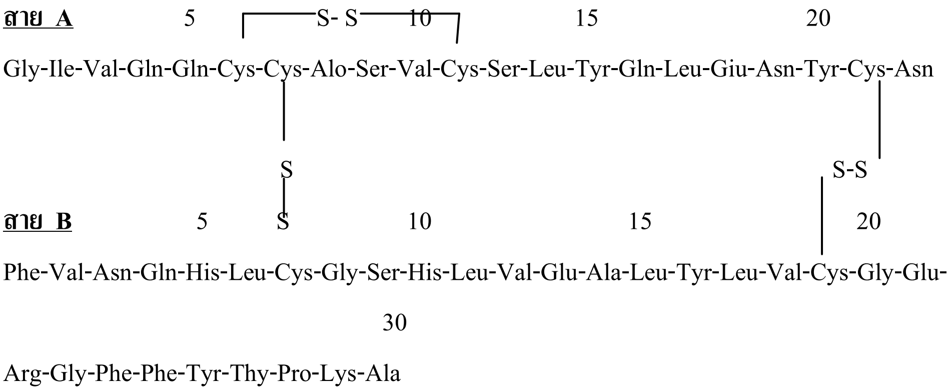
3. ลักษณะโครงสร้างของโปรตีน

โปรตีนทุกชนิดมีกรดอะมิโนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้จะเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะเปปไทด์สารโพลีเปปไทด์ที่เกิดขึ้นนี้จะมีการจัดเรียงของกรดอะมิโนอย่างมีระเบียบและมีลำดับที่แน่นอนสำหรับโปรตีนแต่ละชนิด ทำให้เกิดเป็นโปรตีนที่มีโครงสร้างเฉพาะขึ้นเพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่างลักษณะโครงสร้างของโปรตีนแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ

1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure)
2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure)
3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure)
4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure)

3.1 โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) โครงสร้างระดับนี้เกิดจากการเรียงตัวของกรดอะมิโนเป็นสายโพลีเปปไทด์ ด้วยพันธะเปปไทด์ดังได้กล่าวมาแล้ว การนับตำแหน่งของกรดอะมิ

ในบนสายโพลีเปปไทด์ จะเริ่มนับจากปรายด้านอะมิโน (N-Terminus) ซึ่งเขียนไว้ทางด้านซ้ายมือเป็นตำแหน่งที่หนึ่งและนับกรดอะมิโนตัวต่อ ๆ ไปเรื่อยไปจนถึงปลายด้ายคาร์บอลซิล (C-Terminus) จัดเป็นโครงสร้างพื้นฐานของโปรตีนทุกชนิด ความผิดปกติของโปรตีนจะเกิดขึ้นในโครงสร้างระดับนี้คือเกิดจากการเรียงตัวที่ผิดไปของกรดอะมิโน


สาย A
5
S- S
10
15
20
Gly-Ile-Val-Gln-Gln-Cys-Cys-Alo-Ser-Val-Cys-Ser-Leu-Tyr-Gln-Leu-Giu-Asn-Tyr-Cys-Asn
S
S-S
สาย B
5
S
10
15
20
Phe-Val-Asn-Gln-His-Leu-Cys-Gly-Ser-His-Leu-Val-Glu-Ala-Leu-Tyr-Leu-Val-Cys-Gly-Glu-
30
Arg-Gly-Phe-Phe-Tyr-Thy-Pro-Lys-Ala

ภาพที่ 5.8 แสดงโครงสร้างปฐมภูมิของฮอร์โมนอินซูลิน

3.2 โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure)

โครงสร้างระดับนี้เป็นการกำหนดการวางรูปของสายโพลีเปปไทด์ โดยจะมีการสร้างพันธะกันในเส้นโพลีเปปไทด์เดียวกัน หรือระหว่างต่างเส้นกัน พันธะที่สำคัญในการเกิดโครงสร้างระดับนี้ได้แก่ พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างอะตอม O และ H ของ C=O และ H=N ของสายโพลีเปปไทด์ที่อยู่ใกล้กัน ทำให้สายโพลีเปปไทด์เกิดการขดหรือม้วนตัวเป็นรูปต่าง ๆ ขึ้น นอกจากพันธะไฮโดรเจนแล้วยังอาจมีแรงยึดเหนี่ยวอื่นๆ เช่น แรงวันเดอร์วาล (Van der waal force) , แรงไฮโดรโฟบิค (Hydrophobic) reaction) ช่วยให้เกิดโครงสร้างในระดับนี้ขึ้น โครงสร้างทุติยภูมิที่สำคัญได้แก่ เกลียวอัลฟ (α-helix) และแผ่นจีบบีตา (β-pleated sheet)

3.2.1 เกลียวอัลฟา (α-helix) โครงสร้างในลักษณะนี้สายโพลีเปปไทด์จะบิดเป็นกลียว (helix) เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากอะตอมออกซิเจน (C=O) ของเปปไทด์หนึ่งสร้างพันธะกับอะตอมไฮโดรเจน (H=N) ของเปปไทด์ที่อยู่ในตำแหน่งไกลออกไปในเส้นโพลีเปปไทด์เดียวกัน ทำให้สายโพลีเปปไทด์บิดเป็นเกลียวขึ้น เกลียวที่อยู่ตัวที่สุดคือเกลียวที่เรียกว่า เกลียวอัลฟา (α-helix) ในเกลียวชนิดนี้ C=O ของกรดอะมิโนแต่ละตัวจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับ H=N O ของกรดอะมิโนที่อยู่ถัดไป 4 ตำแหน่ง (ภาพที่ 6 ก) สายเปปไทด์จะม้วนตัวเป็นเกลียวเวียนขวา (Right-handed helix) หนึ่งรอบของเกลียวมีกรดอะมิโน 3.6 ตัว และมีระยะระหว่างเกลียวเท่ากับ 5.4 A แขนงข้างของกรดอะมิโนจะชี้ออกสู่ทางด้านนอกของเกลียว โปรตีนที่มีลักษณะเป็นเกลียวอัลฟา ได้แก่ α-Keratin ในขนแกะ และ Myosin ในกล้ามเนื้อ

3.2.2 แผ่นจีบบีตา (β -pleated sheet) เกิดจากการที่เส้นโพลีเปปไทด์สร้างพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่างเส้นโพลีเปปไทด์ต่างเส้นกันซึ่งวิ่งขนานกัน โพลีเปปไทด์แต่ละเส้นจะมีการเหยียดตัวเต็มที่และอยู่ขนานกันไปเป็นแผ่น (ภาพที่ 6 ข) แขนงข้างจะชี้ออกสู่ด้านล่างและด้านบนของสายเปปไทด์ แผ่นจีบบีตาเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

(1) เส้นเปปไทด์วิ่งสวนทางกัน เรียกว่า **Antiparallel** โครงสร้างแบบนี้สายโพลีเปปไทด์จะวิ่งสวนทางกันสลับไปมา โดยนับจากปลาย N-Terminus ไปยัง C-Terminus

(2) เส้นเปปไทด์วิ่งไปในทางเดียวกัน เรียกว่า Parallel โครงสร้างแบบนี้สายโพลีเปปไทด์ที่เคียงคู่กันจะวิ่งไปในทางเดียวกัน

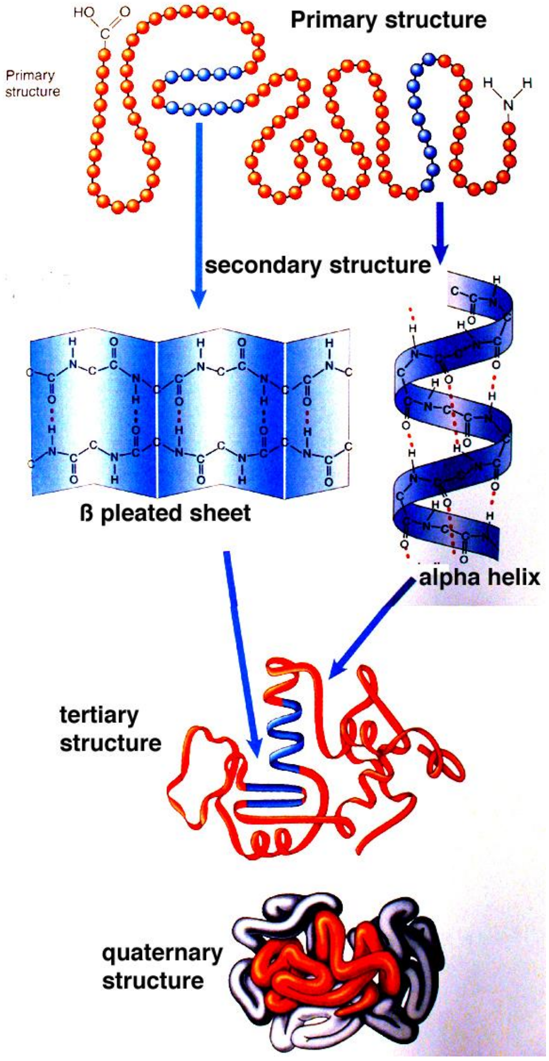
โปรตีนที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นจีบบีตา ได้แก่ โปรตีนไฟโบรอิน ในเส้นไหม

3.3 โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure)

โครงสร้างระดับนี้เกิดจากการที่สายโพลีเปปไทด์ทั้งที่เป็นเกลียว หรือไม่เป็นเกลียว มีการขดหรือม้วนตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างที่แน่นอนในสามมิติ เกิดเป็นลักษณะก้อนกลม (Globular) เช่น ไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อ ลักษณะเป็นแท่ง (Rodlike) หรือเป็นลักษณะที่เรียกว่า Random coil พันธะที่ยึดเหนี่ยวที่ทำให้เกิดโครงสร้างในระดับนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นพันธะไฮโดรโฟบิค (Hydrophodic) ซึ่งเกิดจากการที่บางส่วนของโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนลักษณะไม่โพล่าร์ จึงไม่สร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำ จะพยายามหันตัวหนีน้ำโดยเข้าจับกลุ่มกันเองเสมือนหนึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวหรือมีพันธะเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีพันธะอื่นๆ อีก เช่น พันธะไดซัลไฟด์ (Disulfide bond) พันธะไอโอนิค (Ionic interaction) ซึ่งจะช่วยยึดให้เกิดโครงสร้างที่แน่นอน ทำหน้าที่เฉพาะอย่างได้เช่น ไมโอโกลบิน (Myoglobin) ในกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจน ให้แก่เซลส์ของกล้ามเนื้อ

3.4 โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure)

โครงสร้างที่เกิดจากการจับตัวกันของเส้นโพลีเปปไทด์ต่างๆ หรือหน่วยย่อย (Subunit) เข้าด้วยกันเป็นกลุ่มด้วยแรงยึดเหนี่ยวอย่างอ่อน เช่น พันธะไอออนิก ไฮโดรไฟบิก หรือ วันเดอร์วาล อาจจะรวมตัวกันเป็นลักษณะก้อนกลม (Globular protein) เช่น ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดง จะประกอบด้วยสายโพลีเปปไทด์ 4 สายมารวมกัน (ภาพที่ 5.8) แรงที่ยึดติดกันนี้ส่วนใหญ่เป็นแรงวันเดอร์วาล โดยแต่ละสายจะมีการขดตัวคล้ายไมโอโกลบิน การรวมตัวกันของหน่วยย่อยเพื่อให้เกิดโครงสร้างจตุรภูมิขึ้นมานี้ จะทำให้โปรตีนมีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีขึ้น เหมาะสมกับหน้าที่ เช่น ฮีโมโกลบิน ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยจับออกซิเจนที่ปอด และปล่อยออกซิเจนเมื่อผ่านไปยังอวัยวะส่วนอื่นๆ ของร่างกาย



ภาพที่ 5.9 แสดงโครงสร้างทั้ง 4 แบบของโปรตีน

4. คุณสมบัติของโปรตีน

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโปรตีน

โปรตีนเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ มีหน่วยโครงสร้างเป็นกรดอะมิโน ดูดแสงในช่วยความยางคลื่น 280 nm เนื่องจากกรดอะมิโนเป็น Aromatic จะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นนี้ การมีประจุของโปรตีนขึ้นอยู่กับแขนงข้าง (R group) ของกรดอะมิโนที่เป็นโครงสร้างซึ่งก็ขึ้นอยู่กับ pH และค่า pKa ทำนองเดียวกันกับกรดอะมิโนอิสระ โปรตีนจะตกตะกอนได้เมื่อพันธะที่ยึดเหนี่ยวในโมเลกุลถูกทำลาย ซึ่งอาจได้แก่ ความร้อน สารเคมีต่าง ๆ เช่น กรดและด่างที่มีความเข้มข้น สารละลายยูเรีย ตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น อะซิโตน (Acetne) เนื่องจากสารเหล่านี้จะไปทำลายโครงสร้าง หรือแรงยึดเหนี่ยวของโครงสร้าง

จากคุณสมบัติเหล่านี้ของโปรตีน ทำให้เราสามารถแยกและทำให้โปรตีนบริสุทธิ์ได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ทำให้โปรตีนตกตะกอนมาจากเนื้อเยื่อต่าง ๆ ก่อนโดยใช่กรดหรือด้วยที่มีความเข้มข้นเหมาะสม หรืออาจทำปฏิกิริยาแล้วแยกโปรตีนออกมา และในกรณีที่ในสารโปรตีนหลายชนิดปนกันก็สามาระแยกออกจากกันได้ด้วยสิธีโครมาโตกราฟีแบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโปรตีนแต่ละชนิด และอาจใช้ขบวนการอิเลคโตรโฟลิซิสในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของโปรตีน

4.2 คุณสมบัติทางเคมีของโปรตีน

เนื่องจากโปรตีนประกอบด้วยกระอะมิโนมากมายตัวนั้นโปรตีนจึงสามารถทำปฏิกิริยาจึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ได้หลายชนิดเช่นเดียวกับกรดอะมิโน ซึ่งมีความสำคัญมากเพราะสามารถใช้ทดสอบและหาปริมาณของโปรตีนได้ ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญ ได้แก่

(1) ปฏิกิริยากับนินไฮดริน (Ninhydrin reaction) โปรตีนทำ ปฏิกิริยากับนินไฮตริน ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน – ม่วง เช่นเดียวกับกรดอะมิโน เนื่องจากหมู่อัลฟาอะมิโนอิสระของโปรตีน

(2) ปฏิกิริยากับไบยูเรท (Biuret reaction) พันธะเปปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีนและทำปฏิกิริยากับสารละลาย $CuSO_4$ ในด่างได้สารประกอบเชิงซ้อนสี น้ำเงิน – ม่วง เรียกปฏิกิริยานี้ว่า **Biuret reaction**

ทั้งปฏิกิริยานินไฮดรินและไบยูเรท เป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้ทดสอบโปรตีนและหาปริมาณโปรตีนในสารละลาย เพราะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับโปรตีนทุกชนิด

(3) ปฏิกิริยาสลายพันธะเปปไทด์ด้วยน้ำ (Hydrolysis) โดยมีตัวเร่ง เช่น การสลายโปรตีนด้วยพันธะเปปไทด์ทุกชนิดจะสลายได้ด้วยกรดอะมิโนอิสระที่เป็นโครงสร้าง แต่ในกรณีที่ใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่ง เอนไซม์จะมีความจำเพาะคือสลายพันธะเปปไทด์บางตัวเท่านั้น เช่น เอนไซม์ Trypsin จะย่อยเฉพาะด้านคาร์บอกซิลของกรดอะมิโน ไลซีน หรือ อาร์จินีนเท่านั้น เอนไซม์ Chymotrypsin ย่อยเฉพาะปลายด้านคาร์บอกซิลของกรดอะมิโน เฟนิลอะลานีน ไทโรซีน ทริปโตเฟน และลูซีน

4.3 คุณสมบัติทางชีวภาพของโปรตีน โปรตีนมีหน้าที่ทางชีวภาพต่างๆ ที่สำคัญดังนี้คือ

(1) เอนไซม์ (Enzyme) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง (Catalyst) ปฏิกิริยาต่าง ๆในสิ่งมีชีวิต

(2) โปรตีนโครงสร้าง (Structural protein) ทำหน้าที่ให้ความแข็งแกร่ง หรือยึดเหนี่ยวส่วนต่างๆไว้ เช่น คอลลาเจน (Collagen) ในเอ็น กระดูกอ่อน เคอราตินในเส้นผม ผิวหนัง ขน เขา

(3) โปรตีนขนส่ง (Transport protein)ทำหน้าที่ส่งสิ่งจำเป็นบางอย่างไยยังอวัยวะต่าง ๆ เช่น ฮีโมโกลบิน ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่ออื่นๆ ทั่วร่างกาย ไมโอโกลบิน ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนให้แก่เซลกล้ามเนื้อ เซลลูโลพลาสมิน (Celluloplasmin) เป็นตัวขนส่งทองแดง

(4) โปรตีนที่ใช้ในการหดตัว (Contractile protein) ได้แก่ ไมโอซิน และ แอคติน (Actin) ในกล้ามเนื้อใช้ในการออกกำลังกายเคลื่อนไหวร่างกาย ทิวบูลิน (Tubulin) ในซีเลีย (Celia) และแฟลกเจลลา (Flagella)

(5) ฮอร์โมน (Hormone) ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้น (Stimulate) หรือยับยั้ง (Inhibit) กระบวนการทางเมตาบอริซึมได้ เช่น อินซูลิน (Insulin) เร่งการผ่านของกลูโคสไปยังเซลเนื้อเยื่อและเร่งการใช้กลูโคสในเซล ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดต่ำลง

(6) โปรตีนสะสม (Storage protein) โปรตีนหลายชนิดทำหน้าที่เป็นคลังอาหาร เช่น โอวัลบูมิน (Ovalbumin) ในไข่ขาว และเคซีน (Casein) ในน้ำนม

(7) โปรตีนทำหน้าที่ป้องกัน (Protective protein) เช่น อิมมูโนกลอบูลิน (Immunogloblin) ทำหน้าที่เป็นแอนติบอดี (Antiboby) ซึ่งจับกับสิ่งแปลกปลอมจากภายนอกที่เรียกแอนติเจน (Antigen) ไฟบริน (Fibrin) และธรอมบิน (Thrombin) ทำหน้าที่ป้องกันการแข็งตัวของเลือด

นอกจากนี้ยังมีโปรตีนต้อนรับ (Receptor protein) และโปรตีนทำหน้าที่เป็นสารพิษ (Toxin) ด้วย และยังแบ่งชนิดโปรตีนตามลักษณะของการละลายในตัวทำละลายอีกด้วย

5. การทำลายสภาพแวดล้อม (Denaturation)

เนื่องจากแรงที่รักษาโครงสร้างทุติยภู ตติยภูมิ และจตุรภูมิ ของโปรตีนไว้นั้น ส่วนใหญ่เป็นแรงอย่างอ่อนจึงอาจถูกกระทบกระเทือนได้ง่าย โปรตีนจำนวนมากจะเสียสภาพการขดตัว หรือการจับตัวของหน่วยย่อยของมันไป นั่นคือเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (Denature) การเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนเกิดได้โดยใส่สารบางอย่างไปทำลายพันธะไฮโดรเจน หรือแรงดึงดูดประเภทอื่น ๆ ได้แก่ สารยูเรีย (Urea) และ Sodium dodecyl sulfate (SDS) หรือเมื่อได้รับความร้อนสูงๆ ซึ่งการเสียสภาพธรรมชาติไปนี้บางครั้งจะเสียอย่างถาวร แต่บางครั้งก็อาจจะกลับสู่สภาพเดิมได้ (Renatured) เมื่อเอาสารที่ทำลายสภาพธรรมชาตินั้นออกไป

โปรตีนที่เสื่อมสภาพธรรมชาติจะไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างปกติ เช่น เอนไซม์เมื่อถูกทำทำให้เสียสภาพธรรมชาติ จะเสียความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา และนอกจากนี้คุณสมบัติอื่น ๆ ก็เสียไปด้วย เช่น การละลายในน้ำ โปรตีนที่เสียสภาพจะไม่ละลายในน้ำและตกตะกอน

6. หน้าที่โดยทั่วไปของโปรตีน

1. ในการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอร่างกายต้องใช้โปรตีนสร้าง และซ่อมแซมเนื้อเยื่อตลอดชีวิต โปรตีนจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกล้ามเนื้อ อวัยวะและต่อมไร้ท่อ ทุกส่วนของร่างกายจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ยกเว้นน้ำดีและน้ำปัสสาวะเท่านั้นที่ไม่มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ

2. ช่วยรักษาสมดุลของน้ำ โปรตีนที่มีอยู่ในเซลล์และไหหลอดเลือด ช่วยรักษาปริมาณน้ำในเซลล์และหลอดเลือดให้อยู่ในเกณฑ์ที่พอเหมาะ ถ้าร่างกายขาดโปรตีน นำจะเล็ดลอดออกจากเซลล์และหลอดเลือด เกิดอาการบวมขึ้น

3. ส่วนหนึ่งถูกนำไปสร้างสารเป็นเอนไซม์ ฮอร์โมน สารภูมิคุ้มกัน และโปรตีนชนิดต่าง ๆ ซึ่งแต่ละตัวกฏ็มีหน้าที่แตกต่างกันไปและมีส่วนทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ในร่างกายดำเนินต่อไปได้ตามปกติ

4. รักษาสมดุลกรด-ด่างของร่างกาย เนื่องโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนและในตัวกรดอะมิโนเองมีหน่วยคาร์บอกซิล ซึ่งทีฤทธิ์เป็นกรด และหน่วยอะมิโนมีฤทธิ์เป็นด่าง โปรตีนจึงมีคุณสมบัติรักษาสมดุลกรด-ด่างของร่างกาย ซึ่งมีความสำคัญต่อปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในร่างกาย

5. ให้พลังงาน โปรตีน 1 กรัม ให้พลังงานประมาณ 4 กิโลแคลอรี อย่างไรก็ตามร่างกายได้พลังงานจากคาร์โบไฮเดรตและไขมันเพียงพอ ก็จะสงวนโปรตีนไว้ใช้หน้าที่อื่น

แบบฝึกหัด

1. โครงสร้างปฐมภูมิของโปรตีน หมายความว่าอย่างไร ?
2. โครงสร้างแบบเกลียวแอลฟาเกิดขึ้นได้อย่างไร พบในโปรตีนประเภทใดบ้าง โดยยกตัวอย่างประกอบ ?
3. ไมโอโกลบินมีโครงสร้างตติยภูมิ โครงสร้างแบบนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร ?
4. ฮีโมโกลบินมีโครงสร้างแบบจตุรภูมิ โครงสร้างแบบนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร ?
5. สารอาหารโปรตีนมีบทบาทหน้าที่ต่อร่างกายของเราอย่างไร